

Optimización estocástica ¿Opción en el Agro?

Susana Pena de Ladaga ⁽¹⁻²⁾ y Ariadna M. Berger ⁽¹⁻³⁾

1-AplicAR: Educación en Administración Rural - Avelino Díaz 2547, 1406 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

www.aplicareducación.com; spena@agro.uba.ar; _abberger@agro.uba.ar

2-Facultad de Agronomía (Universidad de Buenos Aires) - Avda. San Martín 4453, 1417 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. UBACYT 20020190100087BA.

spena@agro.uba.ar; www.aplicareducación.com

3-Universidad del CEMA. Córdoba 374, 1054, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Resumen: Se exploraron en un primer paso los resultados de un modelo simple de programación lineal (PL) agrícola en Gral. Villegas. El plan óptimo fue analizado mediante simulación Monte Carlo (SMC). Las variables aleatorias consideradas fueron rendimientos y precios a momento de cosecha. A continuación, se utilizó la optimización estocástica que funciona gracias al desarrollo de algoritmos genéticos. Posibilita arribar a un óptimo utilizando variables aleatorias en un mismo procedimiento. Se suponía lograr un efecto de “sinergia” entre las herramientas de (PL) y (SMC). La exploración permitió visualizar las actividades robustas, es decir aquellas que se repiten invariablemente, aunque con distinta dimensión en las soluciones. No obstante, los resultados más valiosos de la PL (costo de sustitución de actividades, precio sombra de recursos y límites de validez), en apariencia, se pierden con el trabajo simultáneo con SMC. Sólo se pudo contar con la mejor solución y de ella obtener el margen mínimo, medio y máximo. Tampoco se obtuvieron las distribuciones de probabilidad (de masa y acumulada) de la SMC. La importancia de los valores marginales con los que trabaja la PL y la correcta interpretación de los diferentes outputs no es tarea sencilla: requiere considerable entrenamiento. Las salidas simples y comprensibles de la SMC de los planes posibles, asociados a probabilidades de ocurrencia, tampoco están disponibles al trabajar con la optimización estocástica. Ambas características no son indicadas por los vendedores de programas. Se sugiere continuar la exploración para dilucidar si la opción permite ayuda para quienes toman decisiones.

Palabras claves: decisiones; optimización; simulación Monte Carlo, simulación estocástica

1 Introducción

La toma de decisiones es un proceso complejo. Los investigadores buscan desde hace tiempo modos de facilitar la visión de los “posibles caminos” que el empresario podría tomar [1], citado en [2]. Para el cumplimiento de ese objetivo pueden utilizarse muy diversas herramientas [3]. Ellas suelen surgir del ámbito industrial o comercial, no del agropecuario [4]; [5]. Los factores de riesgo que intervienen en cada uno, si bien similares en algunos casos, no lo son tanto en otros [6]; [7]. Por ello, es que deben explorarse las metodologías para vislumbrar las ventajas y desventajas que ofrece cada una. En el presente trabajo se trabaja con un porfolio agrícola simple, no sólo por razones didácticas sino porque la construcción de los modelos es un proceso complejo que requiere de muchos cuidados y definiciones del marco en el que tiene lugar la investigación.

2 Materiales y Métodos

Se compara la información que surge de las tres herramientas: Programación Lineal determinística, Simulación Monte Carlo y Optimización estocástica. El modelo utilizado para esto fue confeccionado mediante un módulo de 1000 hectáreas (de las cuales solo 816 son agrícolas). La composición de suelos resulta representativa de la zona sudoeste de Pampa Arenosa, en el partido de Gral. Villegas de la provincia de Buenos Aires. Son establecimientos donde los suelos presentan cierta fragilidad, por lo que antes del boom sojero eran fundamentalmente ganaderos y en la actualidad vienen soportando una importante presión agrícola. El modelo no incluye costo de arrendamiento, por lo que se trataría del caso de un productor propietario. Los distintos sectores del campo están separados en 6 ambientes principales con características propias y distinta aptitud productiva (para más detalles puede consultarse [8]; [9]; [10]. Respecto a las variables aleatorias consideradas fueron los precios y los rendimientos. En el caso de los precios, al ser dependientes de los valores internacionales que, a su vez, están influenciados por la especulación de los actores del mercado y por las políticas del mercado interno [11], se trabajó partiendo de series históricas de 12 años (campanas 2007/08 a 2018/19) en dólares estadounidenses constantes a mayo de 2019, previamente homogeneizados respecto a retenciones y /o derechos de exportación. A estos valores se le aplicaron los impuestos vigentes a mayo de 2019 (28% en soja, y 10% en girasol, maíz y trigo). En el caso de los rendimientos se tomaron valores zonales surgidos de modelos de simulación agronómica. Los resultados modelizados fueron comparados considerando la medida residual de resultado Margen Bruto (MB), en \$/ha que son llevados a Margen Bruto Total (MBT \$/año) para una comparación efectiva. La resolución de PL determinística se llevó a cabo mediante Solver de Frontline System, Add in de Excel, la SMC a través de @Risk y la optimización estocástica con RiskOptimizer, ambos de Palisade Corporation, 2008.

3 Resultados y Discusión

El portfolio agrícola constituido por 5 actividades: trigo (T), soja de primera (S1) y segunda siembra (S2), maíz (M) y girasol(G) fue trabajado primeramente mediante Programación Lineal determinística, donde se utilizan, para calcular las medidas de resultado residuales (Márgenes Brutos), los valores medios de las variables aleatorias de mayor trascendencia, que son los precios y los rendimientos. En [8] se comentan en detalle los costos de sustitución de las actividades, los de oportunidad de los recursos y los límites dentro de los cuales son válidos dichos resultados. Se intenta resumir aquella información que pueden transmitirse con claridad al tomador de decisiones a fin de ayudarlo en su proceso.

A continuación, se analiza la integración de máximo beneficio obtenida en la optimización, mediante el método de simulación Monte Carlo. En este caso las variables aleatorias, rinde y precio fueron modelizadas con distribuciones Betapert, definidas mediante mínimo, máximo y valor esperado. Como es sabido, la distribución Betapert enfatiza el peso de los valores medios con respecto a los valores extremos; es así como el valor esperado es igual a $(\text{mínimo} + 4 \cdot \text{valor más probable} + \text{máximo}) / 6$, [12]. Se obtuvo como solución la distribución acumulada de resultados, las estadísticas varias (media, mediana, varianza, desvío estándar, coeficiente de variación y percentiles que asocian cada resultado a un nivel de probabilidad de ocurrencia[13] y gráficos donde se visualizan todas estas medidas, que suelen ser de gran ayuda para los productores y asesores.

Finalmente, el mismo modelo es trabajado con optimización estocástica. En este caso las variables aleatorias también fueron modelizadas como Betapert. El add in trabaja con los denominados algoritmos genéticos que identifican el “conjunto de mejores soluciones” (si se optimiza el resultado), pero también existe la posibilidad de minimizar alguno de los parámetros de riesgo de interés como el desvío estándar o el coeficiente de variación [14]; [15]. Dentro de estos conjuntos, el empresario debería poder identificar su postura respecto al riesgo a asumir, aplicando alguno de los criterios de decisión que indica la bibliografía, con mayor facilidad que con las anteriores herramientas.

La optimización tradicional determinística del modelo de programación lineal llevó al resultado que, debido a su simplicidad, podía predecirse simplemente mirando las cifras de los márgenes brutos: el doble cultivo trigo seguido de soja de segunda siembra es la actividad más conveniente, tanto en las tierras de loma (de mejor calidad) como en las de plano alto (de calidad intermedia). El MBT de la solución óptima arrojó un valor de 635.796 dólares. La integración de máximo beneficio consiste en realizar en la loma, la totalidad (509 ha) del doble cultivo trigo/soja de segunda siembra; lo propio ocurre con las 307 ha del suelo de plano alto. El resultado de la función objetivo es sólo válido para esas superficies. Todos los tipos de tierra, en los dos períodos considerados en la agricultura, así como la tierra ganadera resultaron limitantes; existen diferencias en cuanto a los precios sombra por período y tipo de suelo, dado que en ese costo de oportunidad se refleja la capacidad productiva del tipo de

recurso, influenciada por la competencia entre alternativas. En relación con las actividades que no han ingresado en la solución, ellas presentan costo de sustitución; el mismo se interpreta como lo que se dejaría de ganar si se obliga a realizar una ha de un cultivo que no está en la solución óptima, o del mismo modo, cuánto debería aumentar el MB/ha de dicho cultivo para que sea conveniente el ingreso en la solución.

Los resultados de superficie surgidos del modelo óptimo fueron a continuación ingresados en el modelo que permite analizar la variabilidad a la que el productor se enfrenta al llevar a la práctica el sistema que la optimización sugiere [13]. Se trabajó con las distribuciones de probabilidad Betapert ya mencionadas, en 5.000 iteraciones, con número semilla igual a 1. El resultado promedio concuerda con los resultados de la optimización determinística, como era de esperar. Pero la ventaja es que esa cifra viene acompañada de una medida de riesgo: un desvío estándar de 174.299 dólares y un valor mínimo de 171.837 dólares. Cabe destacar que con estas herramientas también pueden identificarse probabilidades de otros valores de interés como la probabilidad de pérdida, en este caso nula, así como otras tales como probabilidad de cubrir el capital operativo utilizado en el sistema, los costos indirectos, algún costo fijo, obligaciones preexistentes a atender, etc.

A continuación, se procedió al trabajo con los algoritmos “genéticos (inspirados en los principios darwinianos que sostienen que la selección natural hace que en un ambiente sobrevivan los más aptos). El modelo se construyó con las mismas restricciones de suelo y períodos de utilización vistos en la PL, todas ellas consideradas “duras” es decir que necesariamente deben cumplirse. Las variables, aleatorias rinde y precio, integrantes de los cálculos del MBT tuvieron 1.000 iteraciones en cada caso analizado.

La ventaja que se apreció en RiskOptimizer es que trabaja sobre un archivo de Excel similar al que se utiliza con Solver, y su uso es sencillo si ya se manejan las dos herramientas presentadas (PL y SMC). El motor de cálculo con que cuenta el programa para resolver los algoritmos genéticos es el Evolver desarrollado por Palisade Corporation. Se deben definir las celdas ajustables y, según el tipo de problema a resolver, será el método de solución que deba seleccionarse. En este caso, en que las variables ajustables cambian en forma independiente se recomendaba el uso de la opción “Receipt”. El progreso iterativo se puede seguir en pantalla. Así, cada nueva solución que cumple con las restricciones duras sólo es conservada si mejora los valores del criterio objetivo. La búsqueda evoluciona hacia una “población de soluciones”: como si en la computadora se efectuaran cientos o miles de análisis del tipo “qué pasa si” todo en una vez. Según el software que se utilice, el programa funciona hasta tanto se cumpla la cantidad de iteraciones máxima pre - establecida, o puede detenerse automáticamente cuando el conjunto de soluciones óptimas converge hacia estadísticos estables. En un primer paso se procedió a la maximización del valor medio trabajando con muestreo Latin Hipercube y seleccionando semilla “random” con el fin de arribar a una solución óptima robusta (como Palisade sugiere) que cumpla con las restricciones “duras” indicadas. La información obtenida se observa en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1: Integración del plan óptimo (ha de cada actividad)

	TL	S1L	S2L	ML	GL	TPA	S1PA	S2PA	MPA	GPA
Máximo MBT	509	-	509	-	-	307	-	307	-	-
Mínimo Desvío	37.7	-	37.7	0.3	471.1	-	307	-	6	301
Máximo mínimo	509	-	509	-	-	-	307	-	-	-

Los cultivos que llevan L están sobre suelo Loma y los PA sobre plano alto

Tabla 2: Resultado (MBT) en base a tres objetivos diferentes

	Media	Desvío	Mínimo
Máximo MBT	635.796	174.299	171.837
Mínimo Desvío	177.498	68.901	-16.837
Máximo mínimo	624.175	154.184	184.993

El valor de MBT obtenido fue idéntico con el uso del Solver determinístico y con la SMC de @Risk, 635.796 dólares con un desvío standard de 174.299 dólares y un valor mínimo de 171.837 dólares. La integración empresarial del MBT medio fue también de las 509 ha de Trigo / Soja de segunda siembra en suelo de loma y 307 en el plano alto. A continuación, se procedió a evaluar la solución que llevara a minimizar el desvío standard. Pero para lograr eso hay considerables modificaciones en la integración empresarial (evidentemente selecciona las actividades más “constantes” en su MB/ha), utilizando la totalidad de los recursos. El plan de menor desvío standard (Desvío 0) sería “no hacer nada”, pero eso no es una solución que un productor empresario vaya a realizar. El óptimo que la salida de RiskOptimizer indica es en la loma hacer solo 37,7 ha de la rotación Trigo / Soja de segunda siembra, y hace 0.25 ha de Maíz y 471 ha de Girasol -evidentemente el cultivo más estable-; en el caso del suelo de plano alto, hace 301 ha de Girasol y 6 de Maíz. Se procedió entonces a aplicar el “criterio “Minimax”, es decir buscar la maximización de los valores mínimos. En este caso la integración empresarial consistió en llevar a cabo en la loma las 509 ha de la rotación Trigo / Soja de segunda siembra, mientras que, en el plano alto, las 307 ha destinarlas a Soja de primera siembra (el costo de sustitución de la matriz determinística indicaba la inestabilidad que acá se pone de manifiesto). Solo hay un cambio en las tierras de plano alto en lo que respecta a la integración de actividades. Esta solución presenta un MBT bastante cercano a la de optimización determinística, bajando solo a 624.175 dólares (apenas una diferencia de 11.621 dólares menos) acompañado por un desvío de 154.184 dólares (20.115 dólares inferior al del óptimo determinístico); por tal motivo, podría ser una opción factible de ser seleccionada por productores con aversión al riesgo.

4. Conclusiones:

La utilidad de la herramienta de PL en el sector agropecuario en modelos complejos ha sido ampliamente demostrada en numerosas investigaciones. La interpretación de las herramientas de salida que ofrece no es sencilla, pero la complejidad se ve más que compensada por la utilidad que tiene cada uno de los indicadores. La visión del factor riesgo en los modelos tradicionales, puede hacerse a través de la interpretación de las salidas mencionadas, aunque suele ser difícil la transmisión de conceptos al decisor que debería utilizarlos.

En el caso de la SMC, los gráficos y los valores porcentuales de un planteo técnico determinado son muy amigables, dando respuesta a preguntas muy frecuentes como ¿cuántos años puedo esperar que los resultados cubran ciertas expectativas de ingresos? utilizando valores definidos, como nivel de retiros, costos fijos, inversión operativa, etc. Es un buen complemento para el método anterior.

La optimización estocástica a priori se presentó como atractiva; no se encontraron sin embargo ejemplos de agropecuarios que utilicen la técnica en investigación. La imposibilidad de contar con la información usual de costos de oportunidad y sustitución y límites de validez opacó en principio sus virtudes. Pero la exploración de distintas opciones combinadas entre las metodologías la transformó en un interesante desafío para problemas más complejos. Es necesario para esto contar con buen conocimiento de los métodos por lo que, a nivel de asesor y de investigación, la herramienta puede considerarse una buena opción a contemplar. Las pocas investigaciones realizadas con esta metodología pueden estar debidas al alto costo de los paquetes de software, poco factibles de adquirir en el país. En la actualidad, trabajando con la alternativa Risk Simulator, donde la herramienta es denominada Optimización dinámica, parecería que existe posibilidad de contar con los precios sombra, por lo cual se está explorando este camino.

Referencias:

1. Simon, H.A. (1960). *The New Science of Management Decision*, New York, Harper & Row, Publishers, Inc. p.2.
2. Simon, H.A. (2011). *El comportamiento administrativo*. Ed. Errepar, 824 p.
3. Chiavenato, I. (2004). *Introducción a la teoría general de la administración*. S´eptima ed. Ed. Mc Graw-Hill Interamericana. 562 p.
4. Hazell, p; Norton, r. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. Ed. Mac Millan Publishing co., New York. 399 p.
5. Hillier F.; Lieberman G. (2002). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Ed. Mc Graw - Hill Interamericana, S.A. 8ª ed. 998 p.
6. Hardaker, J.; Huirme, R.; Anderson, J. (2015). *Coping with risk in agriculture*. [Researchgate.net/profile/Jock_Anderson/publication/26446444532](https://www.researchgate.net/profile/Jock_Anderson/publication/26446444532).

7. Harwood, J.; R. Heifner; K. Coble; J. Perry; A. Somwaru. (1999). Managing risk in farming: concepts, research and analysis. Agricultural Economic Report 744. Economic Research Service, USDA. 125 p.
8. Pena de Ladaga, S.; Marra, R.; Ladaga, B. Sanguinetti, J. (2015). Diversificación y retenciones: análisis mediante modelo de decisión optimizante. IX Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos. Buenos Aires, Fac. de Cs. Económicas – UBA, 3 al 6 de noviembre de 2015. Actas ISBN 1851-3794.
9. Marra, R.; Pena de Ladaga, S.; Ladaga, B. (2016). Diversificación y retenciones II. Análisis mediante modelo de decisión optimizante. Revista Argentina de Economía Agraria. ISSN 0327-3318. Nueva Serie. Volumen XV. Número 1: 50-69.
10. Pena de Ladaga, B. S.; Berger, A. M. (2022). Administración e investigación operativa: integración en el agro argentino. Capítulo 10, 221:241. Editorial AplicAR, educación en Administración Rural, C.A.B.A. www.aplicareduccion.com
11. Boussard, J.M. (2015). El riesgo en las decisiones de la producción agropecuaria: aspectos microeconómicos. En Notas sobre economía de la agricultura y las empresas agropecuarias y agroindustriales. Editora: C. Vicién. Editorial Orientación Gráfica Editora. 15-56.
12. Pena de Ladaga, S.; Berger, A. (2006). Toma de decisiones en el sector agropecuario: herramientas de investigación operativa aplicadas al agro. Ed. Facultad de Agronomía. 308 p.
13. Berger, A.; Pena de Ladaga, S. (2016). Decisiones riesgosas en el sector agropecuario: Simulación Monte Carlo como herramienta para el productor y el asesor. Editorial Orientación Gráfica Editora. 2da. Edición corregida y aumentada. 128 p.
14. Vose, D. (2008). Risk Analysis. A quantitative guide. 3rd. Edition. John Wiley & Sons, Ltd. 734 p.
15. Machain, L (2011). Simulación de modelos financieros. Ed. Helemm Impresiones. San Lorenzo, Santa Fe. 514 p.